

# 右江盆地基性岩的地球化学演化特征 及其区域构造意义

李政林<sup>1</sup>, 刘希军<sup>1,2</sup>, 许继峰<sup>1,3</sup>, 康志强<sup>1</sup>, 时 毓<sup>1</sup>,  
黄文龙<sup>1</sup>, 陈雪峰<sup>1</sup>, 吴伟男<sup>1</sup>, 梁琼丹<sup>1</sup>, 姚 野<sup>1</sup>

(1. 桂林理工大学 a. 广西隐伏金属矿产勘查重点实验室; b. 地球科学学院, 广西 桂林 541004;  
2. 南京大学 a. 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室; b. 地球科学与工程学院, 南京 210093;  
3. 中国科学院广州地球化学研究所 同位素地球化学国家重点实验室, 广州 510640)

**摘 要:** 右江盆地二叠—三叠纪高、低 Ti 基性岩具有明显的空间分布规律, 高 Ti 基性岩 ( $Ti/Y > 500$ ) 集中在盆地中部、西南部, 而低 Ti 基性岩 ( $Ti/Y < 500$ ) 集中在富宁—那坡—靖西—凭祥地区, 呈北西向且沿着印支期断裂构造分布。高 Ti 基性岩属于碱性辉绿岩或玄武岩, 轻稀土 (LREE) 相对富集, 重稀土 (HREE) 相对亏损,  $(La/Yb)_N = 6.49 \sim 8.83$ , 曲线整体与 OIB 一致; 低 Ti 基性岩为亚碱性的辉绿岩或玄武岩, 并具有向安山岩过渡的趋势, 其轻、重稀土分异不明显,  $(La/Yb)_N = 1.1 \sim 4.3$ , Nb、Ta 强烈亏损。微量元素判别图解表明: 右江盆地高 Ti 基性岩是与峨眉山地幔柱相关的板内玄武岩, 而低 Ti 基性岩是 E-MORB 或 N-MORB 部分熔融的产物。高、低 Ti 基性岩空间与时间的高度重合, 以及桂西南与越南北部地区中、酸性岩体的俯冲造山及峨眉山地幔柱成因, 暗示低 Ti 基性岩可能是由峨眉山地幔柱造成的上涌软流圈岩浆与地壳混染的产物, 并与印支期的板块运动有关。

**关键词:** 基性岩; 二叠—三叠纪; 地球化学特征; 右江盆地

**中图分类号:** P588.124

**文献标志码:** A

峨眉山玄武岩于 260 Ma 左右喷发, 被认为是地幔柱上涌的结果<sup>[1-4]</sup>。前人将峨眉山大火成岩省分成内带和外带<sup>[1,4-6]</sup>, 右江盆地在地理位置上处于峨眉山大火成岩省的东南端, 属于外带<sup>[4-6]</sup>。近些年, 越来越多的研究表明富宁、隆林、巴马一带的辉绿岩、玄武岩是与峨眉山地幔柱相关的大陆板内基性岩<sup>[5-10]</sup>。同时, 右江盆地又处于扬子板块西南缘, 记录了古特提斯分支洋盆俯冲闭合、印支板块与华南板块碰撞拼合的过程<sup>[11-12]</sup>。而目前对中越交界附近地区超基性—基性岩的成因存在争议: 一些学者认为是与洋壳有关的岩

石<sup>[13-15]</sup>, 并认为华南板块与印支板块的缝合带经过富宁、那坡—靖西—凭祥或者该地区在二叠纪存在古特提斯的分支洋盆<sup>[13-18]</sup>; 另一些学者认为这些岩石形成于与俯冲相关弧后盆地体系<sup>[19-25]</sup>; 也有研究表明, 二叠—三叠纪个旧—那坡、凭祥地区是因陆缘裂谷扩张形成的弧后裂谷盆地<sup>[19-23]</sup>; 最近, 该地区的基性岩又被认为是峨眉山地幔柱与特提斯洋俯冲相互作用的产物<sup>[24]</sup>。

这些发现是否表明桂西地区存在峨眉山地幔柱或古洋盆两个端元重叠作用区域? 而解决该问题时, 将区域的基性岩联系起来并对其成因作出解

收稿日期: 2015-06-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41463002; 41302041); 广西自然科学基金项目 (2014GXNSFBA118218; 2014GXNSFBA118220); 广西科学研究与技术开发计划项目 (桂科能 1598025-14); 同位素地球化学国家重点实验室 (中国科学院广州地球化学研究所) 开放基金项目 (SKLIG-KF-14-04); 广西“八桂学者”创新团队项目 (2013, 有色金属成矿理论与勘查技术)

作者简介: 李政林 (1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 岩石地球化学, zhenglinli2018@sina.com。

通讯作者: 刘希军, 博士, 副教授, xijunliu@glut.edu.cn。

引文格式: 李政林, 刘希军, 许继峰, 等. 右江盆地基性岩的地球化学演化特征及其区域构造意义 [J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35 (4): 727-735.

释是关键。本文以对桂西巴马、那坡、凭祥地区基性岩的研究为基础,结合前人的越北和滇东南地区基性岩和笔者的桂西南凭祥基性岩的地球化学数据,从地球化学(主、微量元素)、年龄方面对区域基性岩的演化特征作出初步总结,并根据区域地质背景探讨右江盆地二叠-三叠纪基性岩的成因。

## 1 地质背景

右江盆地位于桂西、黔南及滇东交接部位,大地构造上位于特提斯构造带东端,特提斯与滨太平洋构造域交汇处,涉及扬子地块、华夏地块、云开地块和越北地块等构造单元<sup>[25]</sup>,早古生代地层主要出露在越北地块,晚古生代泥盆系-二叠

系在桂西地区主要表现为由碳酸盐岩、砂岩、页岩组成的孤立台地,而台地边缘被广泛的三叠系沉积物覆盖,中生代侏罗系、白垩系分布在十万大山地区<sup>[26-27]</sup>。研究区岩体出露众多,基性岩主要出露在桂西百色隆林-玉凤-巴马一带和中越交界地区(图1),隆林-玉凤-巴马的辉绿岩沿着右江大断裂两侧的孤立碳酸盐岩台地边缘侵入,与中二叠系茅口组呈不整合接触<sup>[29]</sup>;而中越交界地区的基性岩东南端始于桂西凭祥和越北高平,往北西向延伸,经过靖西和那坡直至滇东南富宁、麻栗坡和马关(图1b),总面积约 350 km<sup>2</sup><sup>[26-27]</sup>,在崇左市龙劲一带深水相地层中还出露有由辉长岩、辉绿岩和枕状玄武岩组成的层状基性堆晶岩系,其

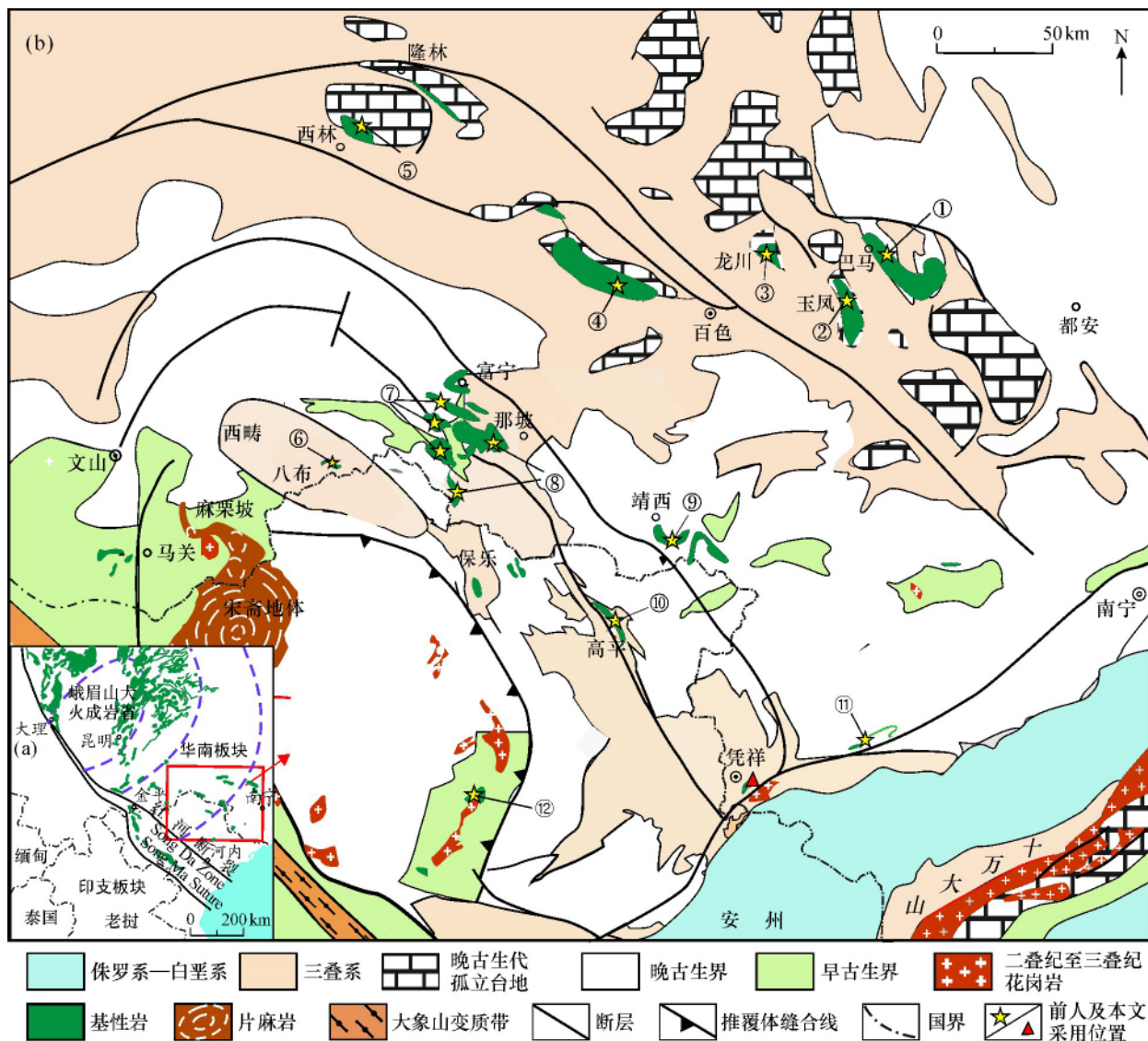


图1 扬子板块西南缘盆地基性岩分布图(a)以及右江盆地地质简图(b)  
(a. 据 Fan 等<sup>[7]</sup> 修改; b. 据 Lepvrier 等<sup>[29]</sup> 广西、云南1:50万区域地质图修改)

Fig. 1 Schematic map of the mafic rocks at Southwest Yangtze block (a) and geological map of Youjiang Basin (b)

地球化学特征显示出 E-MORB 型特征,可能形成于弧后扩张中心环境<sup>[28]</sup>。中、酸性岩体主要出露在越北地块的逆冲推覆体中及十万大山盆地两侧<sup>[28-30]</sup>,十万大山盆地两侧的过铝质钙碱性火山岩具有与俯冲消减作用相关的岛弧型火山岩地球化学特征<sup>[28]</sup>,而越北地块的基性-超基性岩、流纹岩、斑状花岗岩及高铝质花岗岩体被认为是峨眉山地幔柱的作用形成两期岩浆事件<sup>[31-33]</sup>。越北地块推覆体的逆冲导致了逆冲推覆(前陆褶皱)构造自越北地块延伸至广西与越南交界地

区<sup>[29-30,34]</sup>,并奠定了中越交界区域的构造格局。

前人对区内分布的大部分岩浆岩进行了年代学研究,对区内分布基性岩的年龄统计结果为 267~240 Ma,十万大山两侧与越北地区酸性岩体分别形成于 252~244 Ma<sup>[28]</sup>、255~243 Ma<sup>[35]</sup>,表明研究区酸性岩形成于基性岩侵入和喷发中晚期,暗示了部分岩体可能形成于相同的构造热事件。高质量的锆石 U-Pb 年代学数据将越南东北部逆冲推覆体的就位年龄厘定为 237~228 Ma<sup>[30]</sup>。右江盆地基性岩高、低 Ti 类型及年龄统计见表 1。

表 1 右江盆地基性岩的年龄  
Table 1 Dating age data of mafic rock in Youjiang Basin

所属区域	编号	采样区域	岩性	高/低 Ti	w(TiO <sub>2</sub> )/%	Ti/Y	定年方法	年龄/Ma	数据来源
桂西	①	巴马附近	辉绿岩	高	>2.77	>783	锆石 U-Pb	253~257	[5, 7, 9-10]
	②	玉凤	辉绿岩	高	>2.60	>695	锆石 U-Pb	251~260	[7, 9]
	③	阳圩-平圩	玄武岩	高	>2.54	-	锆石 U-Pb	259.1±4	[7]
	④	龙川	玄武岩	高	>2.35	-	锆石 U-Pb	257±9	[8]
	⑤	隆林-西林	玄武岩	高	>2.8	-	锆石 U-Pb	257±9	[8]
滇东南	⑥	八布	“蛇绿岩”	-	-	-	锆石 U-Pb	272±8	[36]
	⑦	富宁	辉绿岩	高	>1.55	-	锆石 U-Pb	253±8	[6]
			辉长、闪长岩	低	<1.12	-	锆石 U-Pb	260±3	[6]
桂西	⑧	那坡	玄武岩	高	>2.71	>493	锆石 U-Pb	241.2±1.9	[37, 38]
			玄武岩	低	<0.77	<216			
	⑨	靖西	玄武岩	高	>1.45	-	锆石 U-Pb	250.5±2.8	[21]
				低	<1.63	-			
越东北	⑩	高平	辉绿、玄武岩	低	<1.36	<200	锆石 U-Pb	265~251	[20, 32]
桂西南	⑪	崇左	辉长、辉绿岩	低	<1.64	-	-	-	[21]
越东北	⑫	Nui Chua	辉长、苏长岩	低	<0.85	-	锆石 U-Pb	251±3.4	[32]

## 2 地球化学

### 2.1 分析方法

本文对桂西地区凭祥基性岩进行了主量和微量元素研究,室内选取了 9 件具代表性的新鲜岩石样品,人工碎成小粒(粒径约 5 mm)后,用 Milli-Q 水在超声波仪中清洗,再用 1.0 mol/L 的盐酸浸泡 2 h,最后再次用 Milli-Q 水清洗并烘干后,无污染粉碎,过 0.074 mm 筛后用于化学分析(表 2)。

主量元素在中国科学院广州地球化学研究所同位素重点实验室中心的 XRF 实验室测定,使用 XRF 对主要氧化物的详细分析过程见文献[21],数据的分析精度优于 2%~5%;微量元素分析在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成,采用酸溶法在高分辨率电感耦合等离子体质谱仪(Finnigan Element II HR-ICP-MS)测定,

详细步骤见文献[39],分析精度一般优于 5%。

### 2.2 元素地球化学

根据峨眉山玄武岩高 Ti 基性岩和低 Ti 基性岩的划分标准(高 Ti: TiO<sub>2</sub>>2.8%, Ti/Y>500; 低 Ti: TiO<sub>2</sub><2.8%, Ti/Y<500)<sup>[1]</sup>,并结合前人对桂西、滇东南地区基性岩的划分情况,得出本文对高 Ti、低 Ti 基性岩的划分依据: 高 Ti, Ti/Y>500; 低 Ti, Ti/Y<500。桂西巴马-玉凤-隆林一带均为高 Ti 基性岩,岩性主要为碱性辉绿岩、玄武岩,滇东南富宁、桂西那坡、凭祥及越南高平高 Ti 基性岩与低 Ti 基性岩均有产出,其中低 Ti 基性岩为亚碱性的辉绿岩或玄武岩,并具有向安山岩过渡的趋势(图 2)。本文所得的凭祥基性岩微量元素数据中,8 个样品属于高 Ti 基性岩, Ti/Y 值为 591~1 062; 仅 1 个样品(PX-2)属于低 Ti 基性岩, Ti/Y 值为 323。右江盆地高 Ti 基性岩 SiO<sub>2</sub> 含量具有较

表2 桂西凭祥基性岩主量元素( $w_B/\%$ )和微量元素( $w_B/10^{-6}$ )数据Table 2 Major( $w_B/\%$ ) and trace element ( $w_B/10^{-6}$ ) compositions of Pingxiang mafic rock in Western Guangxi

名称	PX-1	PX-2	PX-3	PX-4	PX-5	PX-6	PX-7	PX-8	PX-9
岩性	辉绿岩	辉长辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩
SiO <sub>2</sub>	48	49.9	46.7	46.8	48.3	46.9	47.3	47.4	47.2
TiO <sub>2</sub>	1.67	1.53	2.76	2.62	1.42	2.33	1.84	1.74	1.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.8	14.7	14.2	15	14.4	15.1	15.3	15.1	15.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	10.9	11.3	14.9	14.2	12.9	13.6	11.1	10.9	10.6
MnO	0.149	0.13	0.17	0.169	0.21	0.156	0.143	0.144	0.136
MgO	6.35	6.01	5.39	4.66	7.23	5.37	6.84	6.51	6.76
CaO	11.9	8.91	8.02	8.53	8.62	9.17	9.69	9.99	10.5
Na <sub>2</sub> O	3.04	3.84	4.06	4.32	3.25	3.71	3.56	3.65	3.35
K <sub>2</sub> O	0.391	0.848	1.08	0.993	0.65	0.988	0.83	0.973	0.901
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.105	0.115	0.16	0.191	0.098	0.147	0.129	0.137	0.122
LOI	2.54	2.62	2.63	2.3	2.71	2.32	2.94	2.9	2.99
Total	99.7	100	100	99.8	100	100	100	99.5	100
Sc	29.1	38.9	24.5	28.6	25.6	28	30.9	28.7	30
V	315	337	234	587	502	523	325	285	297
Cr	696	269	390	25.5	22.4	55.6	664	670	734
Co	50.3	59.3	47	58.5	53.9	58.6	53.2	51.2	51.1
Ni	227	198	206	127	112	133	176	169	191
Ga	14.1	11.2	13.8	21.7	22.9	21.5	16.6	18.4	16.7
Cs	0.909	1.15	0.309	2.32	2.02	1.18	1.24	1.15	1.18
Rb	8.78	10.9	12.7	30	26.6	25.8	22.5	23.7	23.5
Ba	174	108	192	400	448	380	241	306	259
Th	2.77	1.22	2.68	2.71	2.73	2.5	2.07	2.28	1.98
U	0.518	0.293	0.533	0.564	0.568	0.518	0.42	0.471	0.408
Nb	14	2.1	10.5	16.9	17	14.7	12.7	13.9	12.1
Ta	0.814	0.189	0.658	1.104	1.104	0.886	0.755	0.812	0.713
La	14.2	5.6	12.8	17.1	17.7	15.5	13.1	14	12.4
Ce	28.6	12.9	26.3	35.1	36.6	31.5	27.1	28.8	25.5
Pr	3.77	1.95	3.58	4.76	4.96	4.24	3.7	3.86	3.45
Sr	467	360	493	471	552	887	881	788	812
Nd	16.6	9.9	15.9	21.2	22.3	19	16.8	17.5	15.5
Zr	91.4	84.8	88.6	120	117	96.2	84.9	92.2	81.5
Hf	2.83	2.54	2.77	3.66	3.58	3.01	2.66	2.81	2.51
Sm	3.68	3.12	3.64	4.65	4.84	4.16	3.74	3.83	3.46
Eu	1.27	1.21	1.2	1.64	1.73	1.51	1.35	1.36	1.23
Gd	3.65	3.82	3.66	4.38	4.57	3.96	3.6	3.67	3.31
Tb	0.58	0.754	0.584	0.664	0.684	0.599	0.541	0.553	0.497
Dy	3.24	4.93	3.28	3.53	3.61	3.21	2.89	2.93	2.64
Y	14.9	26.2	15.2	15.5	15.6	14.1	12.6	13.1	11.7
Ho	0.593	1.023	0.608	0.627	0.642	0.564	0.506	0.52	0.47
Er	1.63	3.02	1.66	1.7	1.72	1.5	1.35	1.39	1.26
Tm	0.223	0.444	0.227	0.229	0.229	0.201	0.181	0.187	0.167
Yb	1.39	2.89	1.42	1.44	1.44	1.26	1.13	1.16	1.05
Lu	0.206	0.446	0.212	0.215	0.218	0.19	0.169	0.175	0.157
ΣREE	656	526	675	707	789	1088	1057	976	979
LREE/HREE	23.8	11.1	24.1	24.0	26.5	41.5	45.0	40.2	45.1
(La/Yb) <sub>N</sub>	7.33	1.39	6.47	8.52	8.82	8.82	8.32	8.66	8.47
δEu	3.66	3.45	3.65	4.51	4.7	4.06	3.67	3.75	3.38
Ti/Y (原子数之比)	685	323	591	1 062	981	1 029	924	818	864



小的变化范围 (46% ~ 49%)<sup>[6, 8-10]</sup>, 而低 Ti 基性岩  $\text{SiO}_2$  含量具有较大的变化范围 (44% ~ 59%) (据文献[6, 21]及本次研究)。

从球粒陨石标准化稀土配分图和原始地幔标准化微量元素蛛网图 (图3) 中可看出, 右江盆地高Ti基性岩轻稀土 (LREE) 相对富集, 重稀土

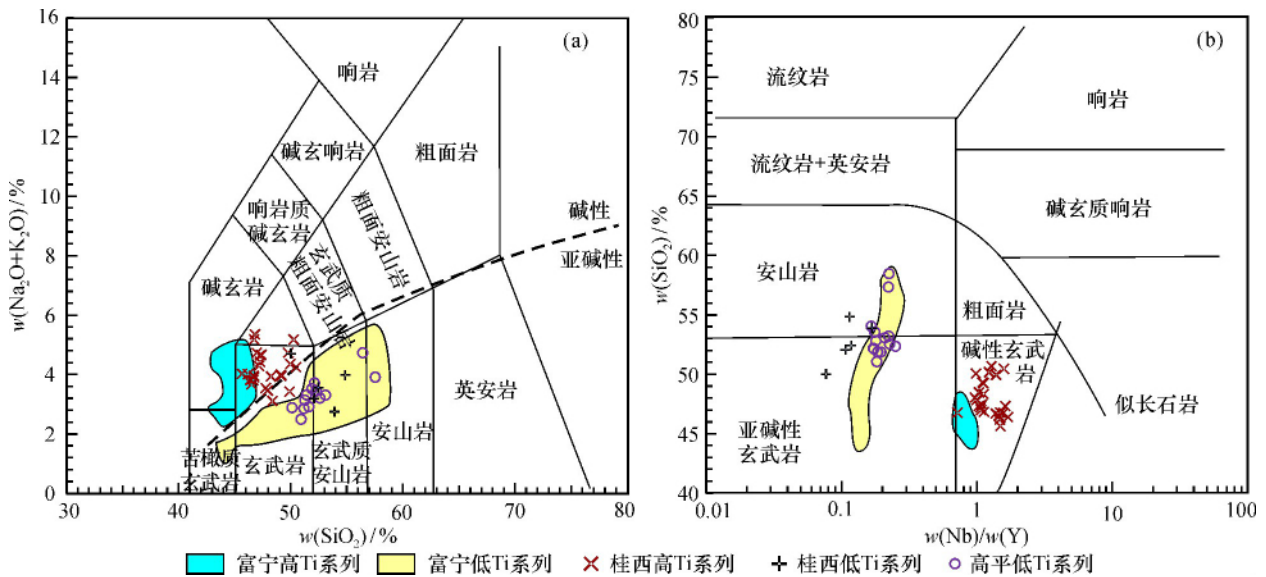


图2 右江盆地基性岩  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  图解 (a) 和  $\text{Nb/Y} - \text{SiO}_2$  图解 (b)  
(a. 仿 Le Bas 等<sup>[40]</sup>; b. 仿 Winchester 等<sup>[41]</sup>; 富宁、巴马、高平基性岩数据分别引自文献[6, 10, 20]; 其中桂西巴马、那坡基性岩数据为本课题组数据)  
Fig. 2  $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  (a) and  $\text{Nb/Y} - \text{SiO}_2$  (b) diagrams of mafic rocks in Youjiang Basin

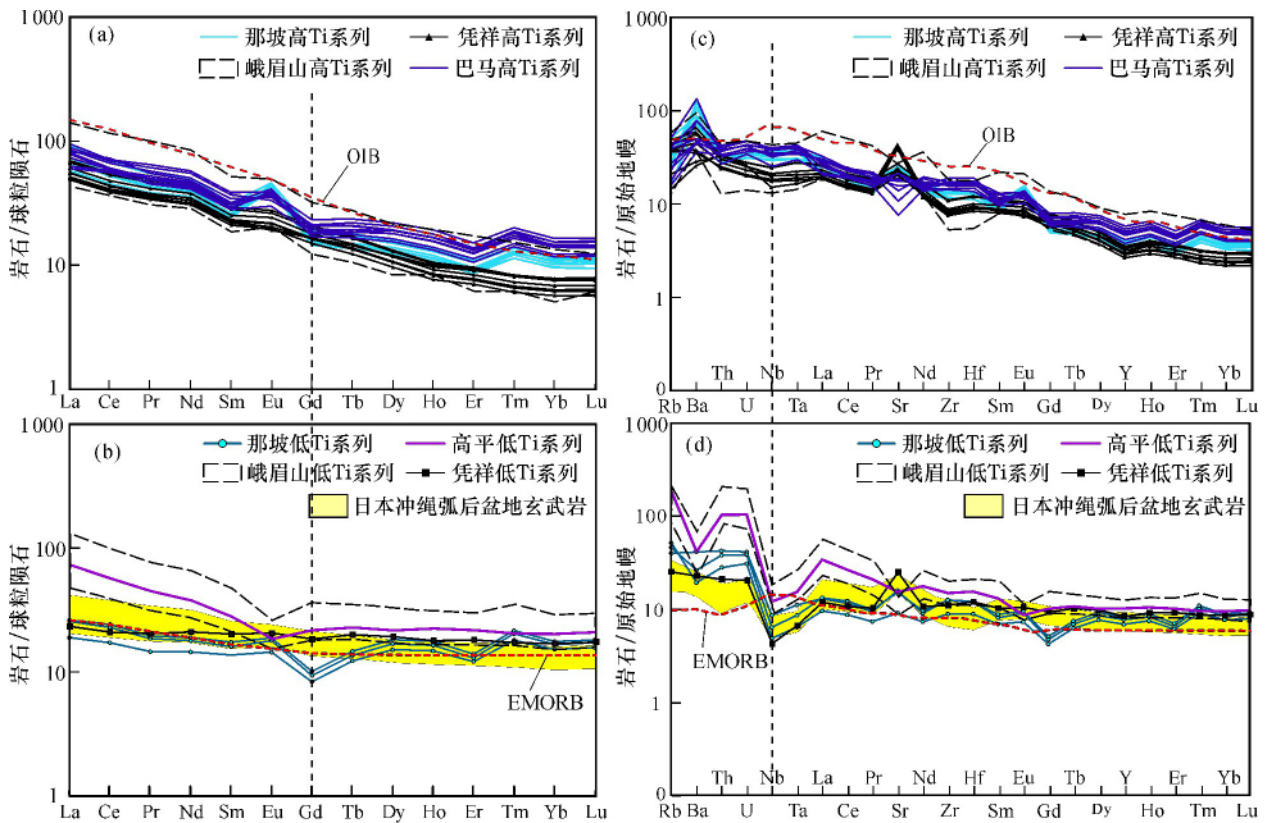


图3 右江盆地基性岩稀土元素配分图 (a, b) 和微量元素蛛网图 (c, d)  
(球粒陨石、原始地幔、OIB、E-MORB 数据引自 Sun 等<sup>[42]</sup>; 峨眉山、日本冲绳 Okinawa 玄武岩数据分别引自文献 [3, 43]; 其余基性岩数据来源见图2说明)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns (a, b) and primitive mantle-normalized trace element patterns (c, d) of mafic rocks in Youjiang Basin

(HREE) 相对亏损,  $(La/Yb)_N = 6.49 \sim 8.83$ , 整体与 OIB 一致, 另有明显的 Eu 正异常 ( $Eu/Eu^* = 0.99 \sim 2.24$ ); 与高 Ti 基性岩相比, 低 Ti 基性岩轻稀土 (LREE) 富集程度相似, 而重稀土 (HREE) 亏损程度降低,  $(La/Yb)_N = 1.1 \sim 4.3$ , 表现为轻、重稀土分馏不明显, Eu 元素总体表现为负异常, 高场强元素 Nb、Ta 强烈亏损, 那坡基性岩样品有较明显的负 Gd 异常, 可能与角闪石的结晶有关, 曲线整体与 E-MORB 平行且落入日本冲绳 Okinawa 弧后玄武岩区域。

### 3 讨论

主微量元素特征的对比表明, 右江盆地高 Ti 和低 Ti 基性岩是两种物质成分差异较大的岩浆岩, 其中桂西的高 Ti 基性岩与富宁高 Ti 基性岩具有较一致的主微量及岩浆演化特征, 而富宁、巴马高 Ti 基性岩的形成与峨眉山幔柱相关已得到证实<sup>[6,10]</sup>, 这暗示那坡及凭祥地区的高 Ti 基性岩与前者具有相似的成因, 而低 Ti 基性岩具有的弧后盆地玄武岩地球化学特征可能与地壳混染或古洋壳俯冲有关。

Th/Yb、Nb/Yb 和  $TiO_2/Yb$  能够很好地示踪地幔源区特征, 因为这些元素比值不受地幔部分熔融或结晶分异作用影响<sup>[44]</sup>。Th/Yb 和  $TiO_2/Yb$  代表了地幔源区的亏损或富集程度<sup>[44]</sup>, Th/Yb 能反

映源区中来自俯冲沉积物熔体的贡献<sup>[45]</sup>。如果地幔源区中有沉积物熔体加入将导致 Th 含量增加而 Nb 和 Ti 的含量却不变, 在 Nb/Yb - Th/Yb 图解中则表现出高 Th/Yb 而落入地幔演化趋势线上方, Nb/Yb -  $TiO_2/Yb$  图解上则不会受沉积物熔体影响, 能够反映受沉积物熔体影响之前岩浆源区特征。在 Nb/Yb - Th/Yb 和 Nb/Yb -  $TiO_2/Yb$  图解中 (图 4), 右江盆地高 Ti 基性岩均集中落在 OIB 端元, 显示出其与峨眉山幔柱的亲缘性, 桂西低 Ti 基性岩均落在岛弧玄武岩区域, 显示俯冲相关源区特征, 其高 Th/Yb 暗示俯冲沉积物熔体对其源区的贡献。在 Nb/Yb -  $TiO_2/Yb$  图解上 (图 4b) 桂西和高平基性岩分别落入富岩石圈地幔端元 (E-MORB) 和亏损岩石圈地幔端元 (N-MORB) 区域中, 而富宁低 Ti 基性岩落入两个端元的交界区域, 指示两个地幔源区混合的特征。

目前, 一些学者认为桂西、越南高平地区低 Ti 基性岩涉入了俯冲物质, 但对于俯冲物质的来源则存在争议: 1) 来源于华南板块与印支板块间古特提斯洋的北向俯冲<sup>[21-24]</sup>; 2) 右江盆地东缘的古洋盆的俯冲<sup>[21-23]</sup>。实际上第一种来源的关键在于华南板块与印支板块的俯冲型式。目前华南板块南向俯冲于印支板块之下得到多数学者认同<sup>[29-30,46-47]</sup>, 并且只有这种板块俯冲模式才能为

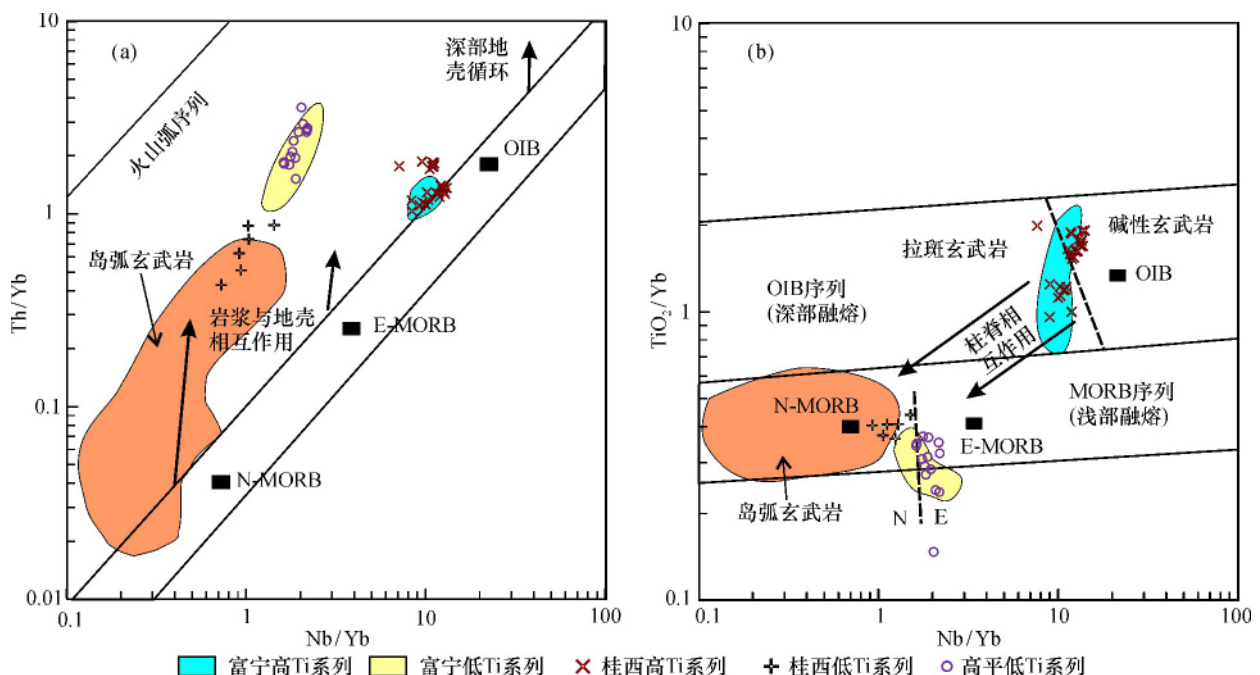


图 4 右江盆地基性岩 Nb/Yb - Th/Yb (a) 和 Nb/Yb -  $TiO_2/Yb$  (b) 图解  
(仿 Pearce<sup>[48]</sup>, 图例及文献见图 2)

Fig. 4 Nb/Yb - Th/Yb (a) and Nb/Yb -  $TiO_2/Yb$  (b) diagrams of mafic rock in Youjiang Basin

处于研究区的逆冲推覆构造和高铝质岩浆岩的成因作出合理的解释<sup>[29-30, 35, 49]</sup>; 同时, 右江盆地充填的三叠系巨厚的陆源浊积岩系沉积物源主要来自东南方的云开古陆<sup>[12]</sup>, 暗示了东南方存在较强的构造挤压。研究区东侧为钦-杭缝合带的西南端, 该区新元古代一早古生代扬子板块和华夏板块之间存在洋盆<sup>[50-52]</sup>, 尽管扬子和华夏板块在早古生代末已经拼合为一体, 但其西南端并没有完全拼合, 在钦防一带仍然为残余洋盆<sup>[21, 50-52]</sup>, 十万大山两侧的早中三叠纪具岛弧火山岩特征的中、酸性岩体, 暗示低 Ti 基性岩具有的弧后盆地玄武岩特征可能主要与扬子和华夏板块之间古洋盆的俯冲有关。

峨眉山低 Ti 玄武岩的形成与次大陆富集岩石圈地幔的部分熔融有关<sup>[3, 53]</sup>, 而高 Ti 玄武岩形成于更深的地幔柱消亡期或边部<sup>[1, 3]</sup>。桂西巴马等地区极高 Ti/Y 基性岩的发现, 暗示了桂西地区处于地幔柱的最边部<sup>[8, 10]</sup>, 该区高 Ti 基性岩可能代表了形成深度最深和最接近原始地幔柱岩浆的成分。同时, 本文研究表明, 桂西地区低 Ti 基性岩与峨眉山低 Ti 玄武岩都是源自富集岩石圈地幔的产物, 但桂西地区低 Ti 基性岩明显涉入了俯冲物质。结合前人对同时代邻近区域中、酸性岩的研究, 以及越北地区中、酸性岩体与峨眉山地幔柱相关的成因, 以高 Ti 基性岩为代表的峨眉山地幔柱岩浆上涌可能为浅部岩石圈地幔的融化及低 Ti 基性岩的形成提供了热能, 然而在时间上无法完全和峨眉山地幔柱岩浆作用的时间相吻合, 但是现有的研究统计结果表明, 桂西大部基性岩年龄介于 265 ~ 241 Ma (表 1), 而该时期华南板块正相互俯冲碰撞, 扬子和华夏板块之间的残余洋盆仍处于俯冲-关闭状态<sup>[21, 50-52]</sup>, 这暗示了桂西地区基性岩浆作用可能受到峨眉山地幔柱岩浆及印支期板块构造运动的共同影响, 这种影响贯穿了印支末期右江盆地西南缘基性岩浆形成的整个过程。

## 4 结 论

(1) 右江盆地高 Ti 基性岩轻稀土 (LREE) 相对富集, 重稀土 (HREE) 相对亏损,  $(La/Yb)_N = 6.49 \sim 8.83$ , 整体与 OIB 一致; 与高 Ti 基性岩相比, 低 Ti 基性岩轻、重稀土分馏不明显,  $(La/Yb)_N = 1.1 \sim 4.3$ , Nb、Ta 强烈亏损, 表现出弧后盆地玄

武岩的特征。

(2) 主微量元素判别图解表明, 右江盆地高 Ti 基性岩是与峨眉山地幔柱相关的板内玄武岩; 低 Ti 基性岩是 E-MORB 和 N-MORB 部分熔融的产物, 同时涉入了一定量的地壳及俯冲相关沉积物。

(3) 桂西低 Ti 基性岩具有的弧后盆地玄武岩特征暗示了那坡-凭祥可能属于扬子与华夏板块之间俯冲体系的弧后盆地, 另外, 高、低 Ti 基性岩空间与时间的高度重合, 以及桂西南、越北地区中、酸性岩体的俯冲造山及峨眉山地幔柱成因, 暗示低 Ti 基性岩可能是由峨眉山地幔柱造成的上涌软流圈岩浆与地壳混染的产物并与印支期的板块运动有关。

## 参考文献:

- [1] Xu Y G, Chung S L, Jahn B, et al. Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan flood basalts in southwestern China [J]. *Lithos*, 2001, 58 (3-4): 145-168.
- [2] Zhou M F, Malpas J, Song X Y, et al. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 196 (3-4): 113-122.
- [3] Xiao L, Xu Y G, Mei H J, et al. Distinct mantle sources of low-Ti and high-Ti basalts from the western Emeishan large igneous province, SW China: Implications for plume-lithosphere interaction [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, 228 (3-4): 525-546.
- [4] Wang C Y, Zhou M F, Qi L. Permian flood basalts and mafic intrusions in the Jinping (SW China) - Song Da (northern Vietnam) district: Mantle sources, crustal contamination and sulfide segregation [J]. *Chemical Geology*, 2007, 243 (3-4): 317-343.
- [5] 范蔚茗, 王岳军, 彭头平, 等. 桂西晚古生代玄武岩 Ar-Ar 和 U-Pb 年代学及其对峨眉山玄武岩省喷发时代的约束 [J]. *科学通报*, 2004, 49 (18): 1892-1900.
- [6] Zhou M F, Zhao J, Qi L, et al. Zircon U-Pb geochronology and elemental and Sr-Nd isotope geochemistry of Permian mafic rocks in the Funing area, SW China [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2006, 151 (1): 1-19.
- [7] Fan W M, Zhang C H, Wang Y J, et al. Geochronology and geochemistry of Permian basalts in western Guangxi Province, Southwest China: Evidence for plume-lithosphere interaction [J]. *Lithos*, 2008, 102 (1-2): 218-236.
- [8] Lai S C, Qin J F, Li Y F, et al. Permian high Ti/Y basalts from the eastern part of the Emeishan Large Igneous Province, southwestern China: Petrogenesis and tectonic implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 47: 216-230.
- [9] 张晓静, 肖加飞. 桂西北玉凤、巴马晚二叠世辉绿岩年代学、地球化学特征及成因研究 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2014, 33 (2): 163-176.
- [10] 黄文龙, 刘希军, 时毓, 等. 桂西巴马地区极高 Ti/Y 基

- 性岩地球化学特征——来自峨眉山幔柱高 Ti 母岩浆? [J]. 地质通报, 2015, 34 (2-3): 474-486
- [11] Yang J H, Cawood P A, Du Y S, et al. Detrital record of Indosinian mountain building in SW China: Provenance of the Middle Triassic turbidites in the Youjiang Basin [J]. *Tectonophysics*, 2012, 574-575: 105-117.
- [12] 宋博, 闫全人, 向忠金, 等. 广西凭祥中三叠世盆地沉积特征与构造属性分析 [J]. 地质学报, 2013, 87 (4): 454-472
- [13] 王忠诚, 吴浩若, 邝国敦. 桂西晚古生代海相玄武岩的特征及其形成环境 [J]. 岩石学报, 1997, 13 (2): 260-265.
- [14] 吴根耀, 吴浩若, 钟大赉, 等. 滇桂交界处古特提斯的洋岛和岛弧火山岩 [J]. 现代地质, 2000, 14(4): 393-400.
- [15] 侯清亚, 傅保国, 康云骥. 广西右江盆地南部岩浆岩的大地构造特征 [C] // 地球科学与资源环境——华南青年地学学术研讨会论文集, 南宁: 广西科学技术出版社, 2003: 33-37.
- [16] 丘元禧, 张伯友. 华南古特提斯东延问题的探讨 [J]. 中国区域地质, 2000, 19 (2): 175-180.
- [17] Cai J X, Zhang K J. A new model for the Indochina and South China collision during the Late Permian to the Middle Triassic [J]. *Tectonophysics*, 2009, 467(1-4): 35-43.
- [18] Zhang K J, Cai J X. NE-SW-trending Hepu-Hetai dextral shear zone in southern China: Penetration of the Yunkai Promontory of South China into Indochina [J]. *Journal of Structural Geology*, 2009, 31 (7): 737-748.
- [19] 徐伟, 刘玉平, 郭利果, 等. 滇东南八布蛇绿岩地球化学特征及构造背景 [J]. 矿物学报, 2008, 28(1): 6-14.
- [20] Thanh N X, Hai T T, Hoang N, et al. Backarc mafic-ultramafic magmatism in Northeastern Vietnam and its regional tectonic significance [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 90: 45-60.
- [21] Qin X F, Wang Z Q, Zhang Y L, et al. Geochemistry of Permian mafic igneous rocks from the Napo-Qinzhou tectonic belt in Southwest Guangxi, Southwest China: Implications for arc-back basin magmatic evolution [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2012, 86 (5): 1182-1199.
- [22] 张锦泉, 蒋廷操. 右江三叠纪弧后盆地沉积特征及盆地演化 [J]. 广西地质, 1994, 7 (2): 1-14.
- [23] 方维萱, 张海, 贾润辛. 滇桂个旧-那坡三叠纪弧后裂谷盆地动力学与成矿序列 [J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35 (4): 552-566.
- [24] 廖帅, 刘希军. 桂西地区基性岩成因初步研究 [C] // 地球资源与环境科学进展——第四届华南青年地学学术研讨会论文集, 南宁: 广西科学技术出版社, 2012: 38-46.
- [25] 吴浩若. 晚古生代—三叠纪南盘江海的构造古地理问题 [J]. 古地志, 2003, 5 (1): 63-76.
- [26] 广西壮族自治区地质矿产局. 广西壮族自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [27] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [28] 覃小锋, 王宗起, 张英利, 等. 桂西南早中生代酸性火山岩年代学和地球化学: 对钦-杭结合带西南段构造演化的约束 [J]. 岩石学报, 2011, 27 (3): 794-808.
- [29] Lepvrier C, Faure M, Nguyen V V, et al. North-directed Triassic nappes in Northeastern Vietnam (East Bac Bo) [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41 (1): 56-68.
- [30] 陈泽超, 林伟, Faure M. 越南东北部早中生代构造事件的年代学约束 [J]. 岩石学报, 2013, 29 (5): 1825-1840.
- [31] Hanski E, Walker R, Huhma H, et al. Origin of the Permian-Triassic komatiites, northwestern Vietnam [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2004, 147(4): 453-469.
- [32] Hoa T T, Izokh A E, Polyakov G V, et al. Permo-Triassic magmatism and metallogeny of Northern Vietnam in relation to the Emeishan plume [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2008, 49 (7): 480-491.
- [33] Polyakov G V, Shelepaev R A, Hoa T T, et al. The Nui Chua layered peridotite-gabbro complex as manifestation of Permo-triassic mantle plume in northern Vietnam [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2009, 50 (6): 501-516.
- [34] 毛健全, 张启厚, 顾尚义. 一种新的逆冲推覆构造组合类型——广西凭祥-板丰反向逆冲推覆构造组合 [J]. 贵州工业大学学报: 自然科学版, 1999, 28(5): 16-21.
- [35] Roger F, Maluski H, Lepvrier C, et al. LA-ICPMS zircons U/Pb dating of Permo-Triassic and Cretaceous magmatism in Northern Vietnam - Geodynamical implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 48: 72-82.
- [36] 张斌辉, 丁俊, 张林奎, 等. 滇东南八布蛇绿岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究 [J]. 地质学报, 2013, 87 (10): 1499-1509.
- [37] 黄虎, 杜远生, 右江盆地晚古生代-中三叠世盆地演化——来自沉积岩和火山岩地球化学特征的证据 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2013.
- [38] Huang H, Du Y S, Yang J F, et al. Origin of Permian basalts and clastic rocks in Napo, Southwest China: Implications for the erosion and eruption of the Emeishan large igneous province [J]. *Lithos*, 2014, 208-209: 324-338.
- [39] 高剑峰, 陆建军, 赖鸣远, 等. 岩石样品中微量元素的高分辨率等离子质谱分析 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2003, 39 (6): 844-850.
- [40] Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A, et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram [J]. *Journal of Petrology*, 1986, 27 (3): 745-750.
- [41] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements [J]. *Chemical Geology*, 1977, 20: 325-343.
- [42] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 1989, 42 (1): 313-345.
- [43] Shinjo R, Chung S L, Kato Y, et al. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of volcanic rocks from the Okinawa Trough and Ryukyu Arc: Implications for the evolution of a young, intracontinental back arc basin [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, 104 (B5): 10591-10608.
- [44] Pearce J A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust [J]. *Lithos*, 2008, 100(1-4): 14-48.



- [45] Singer B S, Jicha B R, Leeman W P, et al. Along-strike trace element and isotopic variation in aleutian island arc basalt: Subduction melts sediments and dehydrates serpentine [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112 ( B6 ): B06206.
- [46] Lepvrier C, Vuong N V, Maluski H, et al. Indosinian tectonics in Vietna [J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 2008, 340 ( 2 - 3 ): 94 - 111.
- [47] Liu H C, Wang Y J, Cawood P A, et al. Record of Tethyan ocean closure and Indosinian collision along the Ailaoshan suture zone( SW China) [J]. *Gondwana Research*, 2015, 27 ( 3 ): 1292 - 1306.
- [48] Pearce J A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust [J]. *Lithos*, 2008, 100: 14 - 48.
- [49] Faure M, Lepvrier C, Nguyen V V, et al. The South China block-Indochina collision: Where, when, and how? [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 79: 260 - 274.
- [50] 覃小锋, 潘元明, 夏斌, 等. 云开地块北缘构造带中变质基性火山岩的地球化学特征及其大地构造意义 [J]. *地球化学*, 2007, 36 ( 3 ): 311 - 322.
- [51] 彭松柏, 金振民, 付建明, 等. 云开地区新元古代蛇绿岩的地球化学证据及其构造意义 [J]. *地质学报*, 2006, 80 ( 6 ): 814 - 825.
- [52] 何卫红, 唐婷婷, 乐明亮, 等. 华南南华纪 - 二叠纪沉积大地构造演化 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2014, 39 ( 8 ): 928 - 949.
- [53] Song X Y, Qi H W, Robinson P T, et al. Melting of the subcontinental lithospheric mantle by the Emeishan mantle-plume: Evidence from the basal alkaline basalts in Dongchuan, Yunnan, Southwestern China [J]. *Lithos*, 2008, 100: 93 - 111.

## Geochemical evolution characteristics and regional tectonic significance of mafic rocks from Youjiang Basin

LI Zheng-lin<sup>1</sup>, LIU Xi-jun<sup>1, 2</sup>, XU Ji-feng<sup>1, 3</sup>, KANG Zhi-qiang<sup>1</sup>, SHI Yu<sup>1</sup>, HUANG Wen-long<sup>1</sup>,  
CHEN Xue-feng<sup>1</sup>, WU Wei-nan<sup>1</sup>, LIANG Qiong-dan<sup>1</sup>, YAO Ye<sup>1</sup>

( 1. a. Guangxi Key Laboratory of Hidden Metallic Ore Deposits Exploration; b. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. a. State Key Laboratory for Mineral Deposits Research; b. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 3. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; )

**Abstract:** Permian - Trassic mafic rocks well cropped out in Youjiang Basin, have a clear spatial distribution of high-Ti and low-Ti mafic rocks. The high-Ti mafic rock mainly distributes in the central and southwest of Youjiang Basin, while the low-Ti mafic rock almost distributes at Funing-Napo-Jingxi-Pinxiang area, NW trending and controlled by the Indosinian fracture structure. The geochemical results indicate that the high-Ti mafic rock is alkaline basalts, enriched in LREE and depleted in HREE with  $(La/Yb)_N = 6.49 - 8.83$ , similar with OIB. However the low-Ti mafic rock has a wider transitional signatures ranging from subalkaline basalt to andesite, displays a weak fractionation between LREE and HREE with  $(La/Yb)_N = 1.1 - 4.3$ , but a strong depletion of Nb and Ta. Trace elements ratios suggest that the high-Ti mafic rock is likely derived from the Emeishan mantle plume, but the low-Ti mafic rock experienced partial melting of E-MORB and N-MORB-like magma. The spatial overlap of low-Ti and high-Ti mafic rocks, as well as the medium-acid rocks, formed by subduction orogenic and Emeishan mantle plume in Southwest Guangxi and North Vietnam, suggest that the low-Ti mafic rock is likely formed by a mixed compound in Emeishan mantle plume or asthenosphere and continental crust, and this process may be associated with the plate motion of Indo-Chinese epoch.

**Key words:** mafic rock; Permian - Trassic; geochemical characteristics; Youjiang Basin